

УДК 621.397, 621.31

С. Костєлов<sup>1</sup>; І. Коноваленко<sup>2</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Луцький національний технічний університет

<sup>2</sup>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

## РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ З ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ АВІАЦІЙНИХ ФОРСУНОК

**Резюме.** Роботу присвячено проблемі дослідження та випробування авіаційних форсунок на базі засобів та методів, які застосовуються на авіаремонтних підприємствах. Проаналізовано методи вирішення даної проблеми і показано, що одним з можливих варіантів розв'язання завдання є впровадження телевізійної вимірювальної системи, яка дасть можливість покращити точність та якість вимірювань при випробуванні. Встановлено, що підвищення роздільної здатності дає можливість досліджувати нові властивості витоку палива з форсунки, які були непомітними при візуальному спостереженні. На даному етапі дослідження, за результатами проведеної роботи розроблено узагальнену структурну схему автоматизованої системи для дослідження авіаційних форсунок, що дозволяє проводити вимірювання головних технічних параметрів розпилю.

**Ключові слова:** авіаційна форсунка, структурна схема автоматизованої системи, телевізійні вимірювальні системи, автоматизована система.

S. Kostielov; I. Konovalenko

## DEVELOPMENT OF AUTOMATED SYSTEMS FOR AVIATION RESEARCH AND TEST OF AVIATION ATOMIZERS

**The summary.** The problem on research and test of aviation atomizers on the basis of existing means and methods which are applied at the aircraft repair enterprises is considered. Possible methods of the decision of the given problem are analyses and shown, that introduction of television measuring system which will give the chance to improve accuracy and quality of measurements at test is one of possible variants of the decision of the task. In the course of the analysis it has been established, that increase of resolution gives the chance to investigate new properties of a source of fuel from an atomizer which were not appreciable at visual supervision. At the given investigation phase, by results of the spent work the generalized block diagram of the automated system has been developed.

**Key words:** aviation atomizers, block diagram of the automated system, television measuring systems, automated system.

**Постановка проблеми.** На даний момент в авіаційній промисловості значна увага приділяється розробленню нових вузлів та агрегатів літаків, метою якого є покращення їх технічних та економічних характеристик. У той же час недостатньо уваги приділяється розробленню нового діагностичного обладнання для перевірки працездатності та продуктивності експлуатованих вузлів і агрегатів машин. Авіаремонтні заводи, що займаються діагностикою машин, їх вузлів та агрегатів, нараховують до десятка складних випробувальних стендів і установок, які потребують автоматизації та комп'ютеризації. Особливу увагу в цьому напрямку привертають стенди для діагностики та випробування паливної системи і насосних маслоагрегатів, які на відміну від балансувальних стендів та панелей діагностики електроніки не мають автоматизованих аналогів і для покращення продуктивності їх роботи потрібна модернізація.

Використання діючого стенда випробування та діагностики форсунок основного паливного вузла У-2631-87 передбачає багато людських факторів: вимірювання здійснюється методом візуального спостереження, робота проходить у шкідливому та

небезпечному середовищі, розрахунки роблять вручну. Внаслідок цього відсутня загальна електронна база даних, важко розраховувати статистичні показники, часто відбувається повторне проведення дослідів. Також цей стенд не дає можливості виконувати дослідження нових властивостей форсунок, що могло б прискорити та покращити ремонтні роботи паливних вузлів двигуна.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогодні існують сотні розробок із дослідження параметрів роботи відцентрових форсунок різних двигунів та агрегатів, але не зустрічаються розробки та звіти досліджень авіаційних відцентрових форсунок. Найповнішу інформацію з авіаційних відцентрових форсунок можна отримати на авіаційному ремонтному заводі – ДП МОУ ЛРЗ «Мотор» у місті Луцьку, на якому і проводяться дослідження. Тому основними ресурсами для проектування й дослідження були дозволені копії матеріалів з бібліотеки державного підприємства з відцентрових форсунок, методам їх досліджень та проектуванню. Проаналізовано існуючі методи дослідження гідравлічних характеристик відцентрових форсунок різного типу агрегатів і шляхи їх покращення [1, 2], результати стендових досліджень відцентрових форсунок [3] та методи розроблення й дослідження відцентрових форсунок для інгібридних установок [4]. У зазначених роботах дослідження проводились із відцентровими форсунками не авіаційних агрегатів, які дещо відрізняються за своєю будовою, а саме: кількістю контурів, іншою конфігурацією завихрювачів потоку та кількістю сопел. Дослідження проводилися для встановлення залежності коефіцієнтів гідравлічного опору до витрати, а також вплив інгібридного палива на якість розпилу за допомогою існуючих випробувальних стендів та методів.

На даний момент існує два експериментальних методи випробування продуктивності авіаційних форсунок: аналіз пропускної здатності загального контуру всіх елементів методом загального проливу та вимірювання рівномірності, якості, кута розпилу і продуктивності окремо кожної форсунки. Останнє випробування проводиться на технологічному стенді У-2631-87, де в автоматичному режимі знімаються та регулюються покази витрати, температури, тиску та концентрації палива. Всі інші вимірювання та дослідження, у тому числі розрахунки щодо доопрацювання форсунки для підвищення продуктивності проводить інженер-оператор у ручному режимі. Звіт з виконаної роботи проводиться в окремій програмі на ПК із введенням даних до бази даних [5].

Таким чином, перспективною є розроблення автоматизованого комплексу для дослідження авіаційних форсунок, який дозволить без втручання суб'єктивних факторів отримувати результати вимірювань головних технічних параметрів розпилу, формувати базу даних результатів та проводити її автоматизоване опрацювання.

**Метою роботи** на даному етапі є дослідження методів діагностики і доопрацювання авіаційних форсунок. Для цього потрібно підібрати та протестувати основні технологічні засоби та розробити структурну схему автоматизованого комплексу для визначення таких технічних параметрів форсунок, як кут, якість і рівномірність розпилу.

**Постановка завдання.** Необхідно виділити такі основні завдання на даному етапі дослідження:

- систематизація основних проблем, які виникають при випробуванні, та постановка завдання автоматизації;
- аналіз та вибір можливих методів і засобів вирішення поставленого завдання;
- складання технології проведення досліджень за допомогою вибраних методів;
- розроблення структурної схеми автоматизованого комплексу.

**Опис об'єктів дослідження та автоматизації.** Об'єктом дослідження є авіаційна основна паливна форсунка, яка монтується на випробувальний стенд для діагностики та у випадку невідповідності заданим параметрам у подальшому

доопрацьовується. Об'єктом автоматизації є діагностично-випробувальний стенд У-2631-87, на якому проводяться роботи.

Основна паливна форсунка авіаційного турбореактивного двигуна – відцентрова двоконтурна форсунка основної камери згоряння двигуна, призначена для функціонування на всіх режимах його роботи.

Випробувальний стенд У-2631-87, призначений для діагностики та дослідження авіаційних форсунок на рівномірність, якість розпилу, кут розпилу та продуктивність, є стаціонарним пристроєм і містить пульт керування та контролю, силову шафу, витратний бак, блок радіаторів та насосний агрегат. При випробуванні особливу увагу приділяють:

- відповідності робочої рідини (палива) нормативним показникам якості;
- точності фільтрації палива на вході в пакет завихрювачів форсунки;
- температурі палива на вході завихрювачів;
- об'ємному вмісту гідросистеми;
- максимальному робочому тиску на вході випробувальної форсунки та в пневмосистемі.

При безпосередніх вимірах пропускної здатності форсунки допускається похибка вимірювання на всіх режимах не більше 1%. При вимірах умовного кута конусу розпилу палива (він визначається на відстані 50 мм від торця сопла другого каскаду в двох взаємно перпендикулярних площинах) допускається похибка не більше 2% на всіх режимах вимірювання. Перевірка секторної нерівномірності розподілу палива у поперечному перерізі конуса розпилу вимірювання проводиться на відстані 75 мм від кромки секторів бака до торця ковпачка форсунки [5].

При випробуваннях велика увага приділяється системі охолодження палива, яка повинна відповідати вимогам щодо вмісту завислих речовин, кількості карбонатної рідини, масової частки вмісту заліза, рівню активної реакції РН та відсутності активного хлору в охолоджуваній рідині. Всі ці параметри, а також параметри електрозабезпечення та вимоги до приміщення є основною вимогою до безпеки системи.

**Опис телевізійних вимірювальних систем.** Телевізійні системи візуального спостереження (ТСВС) призначені для перетворення оптичного зображення в цифровий відеосигнал, передавання його по каналах зв'язку і формування в місці прийому телевізійного (ТВ) або цифрового зображення, більшою або меншою мірою подібного вхідному оптичному зображенню. Вимоги до якісних показників ТВ-зображення формуються на основі критерію фізіологічно точного відтворення з врахуванням основних психофізіологічних властивостей зорового апарата людини, яка в остаточному підсумку і є споживачем візуальної інформації на виході ТВ-системи.

На відміну від телевізійних систем візуального спостереження, що вирішують завдання неспотвореного передавання на відстань та якісного відтворення візуальної інформації, основним завданням вимірювального телебачення є отримання кількісної інформації про об'єкти, які перебувають у полі зору ТВД (телевізійного вимірювального давача), з метою її використання для конкретних задач контролю й керування. Телевізійні вимірювальні системи (ТВС) призначені для дистанційного автоматичного контролю за станом простору в куті поля зору ТВД, виміру параметрів сукупності об'єктів, що перебувають у контрольованому просторі, і за необхідності для керування станом і взаємодією цих об'єктів. До ТВС відносять широкий клас приладів і пристроїв, які використовуються у прикладному й промисловому телебаченні для збирання й опрацювання різноманітної інформації, а також для контролю й керування технологічними процесами в складі різноманітних автоматизованих комплексів.

При складанні технічного завдання на розроблення ТВС і технічних умов її застосування необхідно сформулювати ряд основних параметрів і характеристик, до числа яких належать:

**Точнісні параметри і характеристики** (характеристики вимірювання, виявлення та розпізнавання об'єктів). Стосовно вимірювальних систем тут звичайно мова йде про середньоквадратичні або граничні похибки, стабільність метрологічних параметрів тощо. Для ТВС, яка вирішує завдання попереднього виявлення або розпізнавання об'єктів, звичайно вказують такі параметри, як допустима ймовірність помилкового виявлення (помилкової ідентифікації) і, навпаки, ймовірність пропуску об'єкта за умови його знаходження в зоні спостереження. Як характеристики виявлення об'єкта використовують, наприклад, залежності правильного розпізнавання від співвідношення сигнал/шум (при фіксованих значеннях допустимої ймовірності помилкового виявлення, помилкової ідентифікації).

**Функціональні параметри.** Сюди належать кількість та вид вимірюваних величин, діапазон вимірюваних величин, час виявлення та розпізнавання об'єктів, готовність до роботи після ввімкнення, ступінь автоматизації контролю вихідних величин та ін.

**Експлуатаційні параметри.** До них належать: температурний діапазон, припустимий рівень механічних впливів (ударів, вібрацій), надійність системи, можливість її адаптації або самоадаптації при зміні умов спостереження.

**Економічні показники:** вартість окремих компонентів і системи в цілому, ступінь їхньої уніфікації та ін.

Під параметром мають на увазі чисельне значення певної величини, яка визначає відповідну якість системи (наприклад, середньоквадратична похибка вимірювання); характеристика є залежністю того або іншого параметра від зміни одного із зовнішніх факторів (наприклад, залежність середньоквадратичної похибки від температури) [6].

ТВС можна розділити на три основних типи: реєструючі, адаптивні й керуючі. Структурна схема реєструючої ТВС зображена на рис. 1.



Рисунок 1. Структурна схема реєструючої ТВС

До її складу входить ТВД, призначений для формування зображення об'єкта, що перебуває в полі зору системи, й передавання його у вигляді електричного сигналу у вимірювальний блок (ВБ). Вимірювальний блок призначений для здійснення попередньої обробки зображення (фільтрації, перетворення стандартів, посилення), отримання кількісної інформації про об'єкт і формування сигналу для пристрою індикації та реєстрації (ППР) результатів. ППР призначений для відображення та реєстрації інформації про об'єкт вимірювання. Для успішної роботи ТВС даного типу необхідно створити стабільні, зумовлені властивостями ТВД умови спостереження за об'єктом. У загальному випадку алгоритм роботи вимірювального блока повинен передбачати автоматичний пошук і виявлення об'єкта.

У випадку, коли розміри об'єкта, його місце розташування, освітленість та інші параметри можуть змінюватися в широких межах, доцільно використовувати досконаліші ТВС із адаптацією до умов спостереження (рис. 2). У системах такого типу, у порівнянні з уже відомою структурою, додатково введено контур адаптації, що складається з формувача керуючих сигналів (ФКС) і виконавчого пристрою (ВП). ВП призначений для зміни певного параметра ТВД (наприклад, повороту оптичної осі, зміни кута зору, діафрагми об'єктива тощо) так, щоб оптимізувати умови виміру контрольованого параметра об'єкта. Сполучення функцій спостереження і вимірювання

забезпечує адаптивний ТВС високу точність і стійкість результатів виміру. Структура системи дозволяє також робити автоматичний пошук і виявлення об'єкта.

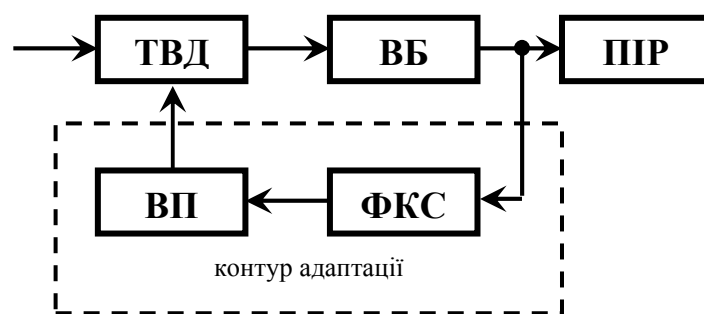


Рисунок 2. Схема адаптивної ТВС

Існують також інші типи ТВС з блоками керування та налагодження ТВД, але для вирішення нашого завдання дані контури не потрібні, бо їх використання передбачає відслідковування позиції рухомого об'єкта, а наш об'єкт вимірювання та спостереження – нерухомий.

У телевізійних системах візуального спостереження обов'язковою заключною операцією є перетворення відеосигналу в зображення, при цьому якість роботи системи оцінюється ступенем відповідності ТВ-зображення на екрані до його оптичного оригіналу. Вибір ТВ-стандарту, удосконалювання окремих вузлів, введення коригуючих блоків (протишумова, апертурна, γ-корекція) та інші заходи щодо модернізації передаючої системи спрямовані в остаточному підсумку на поліпшення якості та інформативності ТВ-зображення, досягнення максимального зорового ефекту.

Важливою відмінною рисою ТВС є наявність вимірювального блока, призначеного для обробки відеопотоку (ВП) із метою добування з нього інформації про спостережуваний об'єкт і виміру контрольованих параметрів цього об'єкта. Саме ця ознака – наявність вимірювального блока – є визначальною для систем класу ТВС.

Ще однією відмінною рисою ТВС є спосіб подання інформації на виході. На відміну від телевізійних систем візуального спостереження, у яких інформація представляється у вигляді ТВ-зображення на екрані контрольного пристрою й призначається для візуального сприйняття, у ТВС вихідна інформація у вигляді цифрових або аналогових сигналів надходить на пристрій реєстрації та індикації або ж використовується в каналі керування. Характерною рисою цих сигналів є однозначний зв'язок між параметром інформаційного сигналу й вимірюваним параметром об'єкта. Отриманий результат можна піддати однозначному оцінюванню незалежно від індивідуальних і суб'єктивних особливостей споживача інформації. На основі отриманих даних можна побудувати об'єктивний кількісний критерій якості роботи ТВС, призначеної для дослідження точнісних характеристик результатів вимірювання. Створення аналогічного критерію для телевізійних систем візуального спостереження утруднене через відсутність об'єктивного кількісного критерію оцінювання якості зображення [6].

Згідно з наведеним вище описом, для нашого дослідження потрібно розробити ТВС слідкуючого типу. Щоб встановити потрібний для вирішення поставленого завдання клас точності ТВД, було проаналізовано веб-камеру (Genius GE111), цифрову IP-камеру відеонагляду (D-Link DCS-3411) та аналогову камеру відеоспостереження (Germikom S-5). Нижче, відповідно до технічної документації, наведено параметри роздільної здатності й чутливості до освітлення об'єкта (табл. 1).

Таблиця 1. Параметри цифрових камер

Камера	Роздільна здатність	Світлочутливість
--------	---------------------	------------------

Genius GE111	640×480	0,1 Лк
D-Link DCS-3411	640×480	0,05 Лк
Germikom S-5	600 ТВЛ (1280×960)	0,003 Лк

За допомогою вказаних камер було проведено зйомку факела розпилу справної форсунки, параметри якої відповідали всім нормативним показникам. Після аналізу отриманих зображень встановлено, що потрібну для подальшої обробки якість та чіткість має зображення, отримане камерою Germikom S-5. Суть аналізу зображень полягала у порівнянні чітких контурів та однорідності тону факела розпилу. Зображення з камер було завантажено в середовище Matlab, де визначено кут нахилу лінії чіткого контуру відносно центральної осі, і побудовано гістограму затонованого сектора між чіткими контурами. Таким чином, для отримання якісного зображення в якості ТВД може бути використаний цифровий чи аналоговий телевізійний пристрій відеоспостереження з високою роздільною здатністю та високою світлочутливістю.

**Складання технології вимірювання та побудова структурної схеми автоматизованого комплексу.** Після визначення необхідної структури ТВС потрібно розробити технологію та підібрати комплекс засобів для її реалізації.

В основу вибору ТВД для створення експериментального комплексу поставимо такі вимоги: оптичний засіб з високою роздільною здатністю та можливістю інфрачервоного підсвічування для можливості отримання спектра та подальшого його аналізу при слабкому освітленні. Важливою є можливість працювати в поєднанні з промисловими мікроконтролерними засобами для захоплення зображення та передавання даних через зручний цифровий інтерфейс для подальшої обробки за допомогою потрібного програмного середовища. Засобом побудови моделей дослідження буде спеціалізований програмний комплекс Fluent, призначений для 2d- та 3d-моделювання механічних процесів, які протікають у рідинах та газах. Він має широкий діапазон можливостей вирішення завдань гідродинаміки в різних середовищах, показує добру збіжність результатів з багатоблоковими розрахунковими сітками. Крім цього, даний комплекс дозволяє ефективно і точно моделювати потоки в широкому діапазоні швидкостей. Велика база моделювання фізичних моделей дозволяє точно описувати ламінарні, перехідні, турбулентні, теплові та багатофазні явища. Особливість моделювання нових складних об'єктів дає можливість гнучкого налаштування та побудови розрахункових сіток, вирішення завдань заснованих на адаптації сіткової області [7].

Гнучкість даного комплексу дозволяє поєднати його з потужним математичним пакетом Matlab, який широко використовується для інженерних розрахунків, моделювання та обробки цифрових зображень. Середовище в Matlab дає можливість створити програму з великим діапазоном алгоритмів для обробки отриманих зображень. Даний математичний пакет має можливість взаємодії із мікроконтролерами та зовнішніми пристроями.

Для поєднання зовнішніх пристроїв та програмного забезпечення оберемо потужний мікроконтролер з перетворювачем інтерфейсів та сигналів фірми dSpace, який має необхідні модулі взаємодії з математичним пакетом у середовищі Simulink.

Підсумуємо розроблену технологію проведення вимірювання і розглянемо синтезовану структурну схему комплексу (рис. 3). Технологія вимірювання передбачає зняття показів з давачів випробувального стенда У-2631-87 з можливістю адаптивного регулювання відповідних параметрів та занесення їх до бази даних вхідних параметрів. Відеопотік від камери передає зображення конуса розпилу палива від сопла форсунки, який умовно поділяють на три сегменти. За допомогою контролера цифрове відеозображення передається на ПК, де виконується його розбиття на окремі ключові кадри, в яких помітні зміни потоку. Ключові кадри зберігаються у вигляді окремих цифрових зображень у базі даних поточного вимірювання. Далі для кожного із

зображень формується гістограма спектра інтенсивності потоку та виділяються контури конуса розпилу. На конус розпилу відповідно до масштабу накладається вимірювальна сітка і визначається кут конуса розпилу, кути граничних відхилень і ширина першого сектора конуса потоку. Далі дані спектральної щільності, інтенсивності потоку та розміри конуса розпилу записуються в базу даних і порівнюються з еталонними значеннями. Таким чином здійснюється оцінювання продуктивності форсунки. Якщо значення продуктивності менше від еталонного, за даними вимірювань будується математична модель форсунки із можливими варіантами її доопрацювання для покращення продуктивності. На основі оптимального значення продуктивності розраховується необхідна зміна величини центрального сопла форсунки. Після отриманих даних виконується фізичне доопрацювання форсунки та її повторний монтаж на стенд з метою підтвердження правильності виконаних робіт. Усі дані щодо проведених робіт, у тому числі цифрові зображення, зберігаються в базі даних під маркувальним номером тестованого виробу [8].

Розглянемо структурно-функціональну схему комплексу, на якій показано взаємозв'язки між вимірювальними та досліджуваними операціями. Структурна схема автоматизованого комплексу складається з випробувального стенда, системи автоматичної реєстрації та аналізу отриманих даних, системи аналізу цифрових зображень та програмного комплексу побудови математичних та імітаційних моделей відповідно до отриманих даних. Система автоматичної реєстрації складається з системи аналізу даних давачів і телевізійної системи вимірювання.

До структури випробувального стенда входять: вимірювальна система (ВС), давачі для фіксації необхідних параметрів (ДВ), система зняття показів з давачів, порівняння їх з еталонними (БП) та записування до бази даних (БД), система контролю вхідними параметрами (СК). Телевізійна вимірювальна система містить камеру спостереження з інфрачервоним підсвічуванням, яка виступає вимірювальним пристроєм (ВП), мікроконтролер (МК) для перетворення та передавання сигналу і перетворення його у цифрове відеозображення (ВЗ).

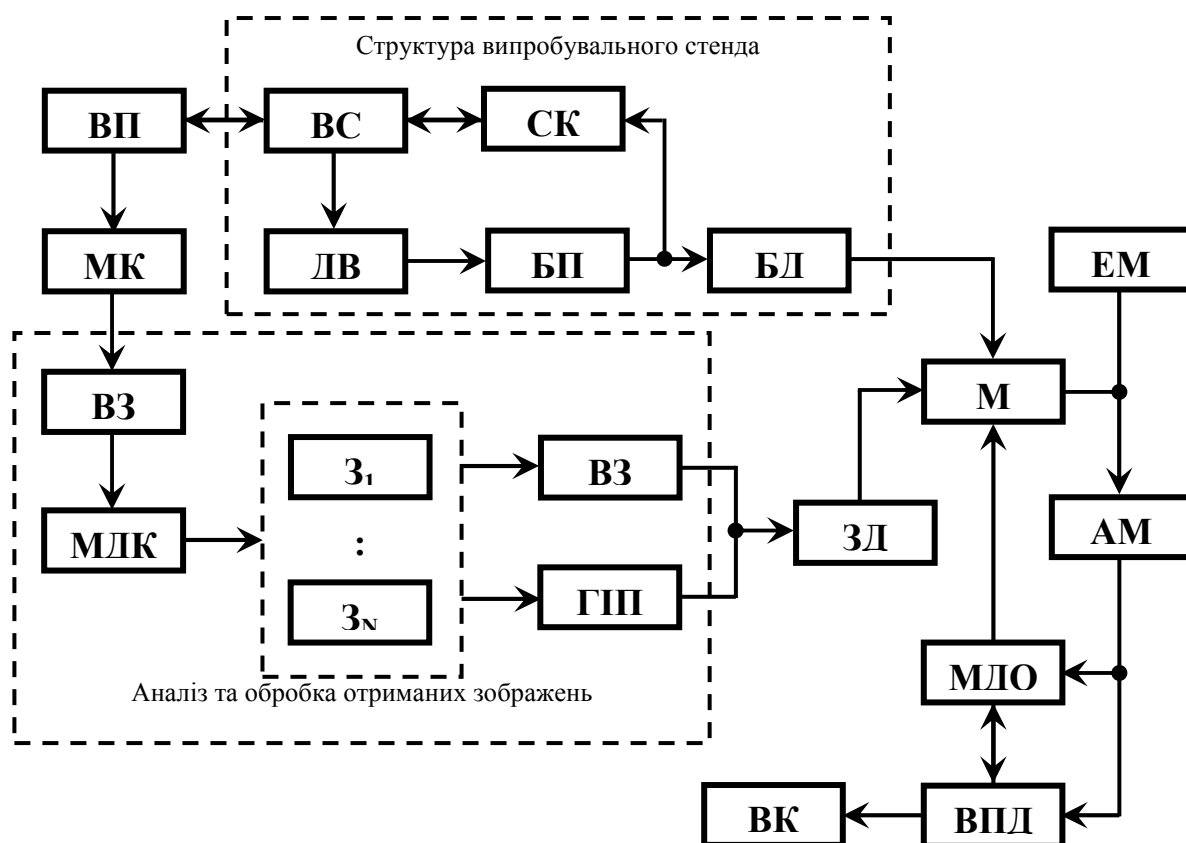


Рисунок 3. Структурна схема автоматизованого комплексу

Блок аналізу та обробки отриманих зображень містить програмний комплекс і охоплює отриманий цифровий відеопотік (ВЗ), модуль декомпозиції відеопотоку на ключові кадри (МДК) та процес розбиття їх на окремі цифрові зображення  $Z_1..Z_N$  (де  $N$  – кількість ключових кадрів).

На основі отриманих цифрових зображень будується гістограма (ГП), за якою оцінюється рівномірність потоку та виконується виділення зображення (ВЗ) й оцінюється якість та кут розпилювання. При співставленні даних (ЗД) виконується оцінювання продуктивності форсунки та визначається розмір її центрального сопла. У випадку невідповідності продуктивності оптимальному значенню будується математична модель (М), яка порівнюється з еталонною моделлю (ЕМ). Після отримання різниці вихідних параметрів моделей виконується аналіз можливих варіантів доопрацювання форсунки (МДО), та будується доопрацьована модель. За відсутності різниці вихідних параметрів доопрацьованої та еталонної моделі виконується розрахунок доопрацювання (ВПД) центрального діаметра сопла форсунки. Останнім етапом іде виконання необхідних дій відповідно до розрахункових даних.

**Висновок.** Спроековано структуру автоматизованої телевізійної вимірювальної системи для випробувального стенда У-2631-87 з дослідження та випробування форсунок авіаційних двигунів. Розроблена вимірювальна система дозволяє усунути суб'єктивний фактор та знизити кількість монтажних робіт при вимірюванні. За рахунок використання сучасних цифрових засобів автоматизованого вимірювання, автоматичного обліку всіх параметрів пропонується технологія проведення вимірювань забезпечить підвищення якості та швидкості вимірювальних робіт із випробування авіаційних форсунок. Крім цього, за рахунок побудови математичних та імітаційних моделей дана технологія дає можливість дослідити нові можливості доопрацювання авіаційних форсунок.

#### Література

1. Дубровський, В.В. Дослідження гідравлічних характеристик відцентрових форсунок градижень і шляхи їх покращення [Текст] / В. Дубровський, О. Підвисоцький // Наукова електронна бібліотека періодичних видань НАН України, збірник. – №17. – 2008. – 41с.
2. Упский, М.В. Экспериментальные исследования малорасходных многосопловых центробежных форсунок [Текст] / М. Упский, В. Упский. // Научный журнал «Вологодские чтения» Дальневосточного государственного технического университета им. В.В. Куйбышева. – №39. – 2004. – С. 31–33.
3. Упский, М.В. Результаты стендовых исследований центробежных форсунок [Текст] / М. Упский. // Научный журнал «Вологодские чтения» Дальневосточного государственного технического университета им. В.В. Куйбышева. – №22. – 2002. – 48с.
4. Муленко, В.В. Разработка и исследования центробежных форсунок для ингибридных газовых установок [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / В. Муленко. – Москва, 2005. – 198с.
5. Испытательно-отладочный стенд У-2631-87: (техническое описание, инструкции по эксплуатации и технология проведения испытаний) [копії інструкцій, друкований матеріал]. – Режим доступу: бібліотека ДП МОУ ЛРЗ “Мотор”.
6. Коротаев, В.В. Телевизионные измерительные системы: учебное пособие [Текст] / В.В. Коротаев, А.В. Краснящих. – МОиН РФ: Государственный университет ИТМО, 2008. – 110с.
7. Федоров, Ю.Н. Справочник инженера по АСУ ТП: Проектирование и разработка учебно-практическое пособие для инженеров [Текст] / Ю.Н.Федоров. – М.: Инфра-Инженерия, 2008. – 928с.
8. Хавкин, Ю.И. Центробежные форсунки: руководство по расчетам, проектированию и исследованиям для инженеров [Текст] / Ю.И. Хавкин. – Л.: Машиностроение, 1976. – 168с.

Отримано 23.02.2011